

## 明 細 書

## 焼結可動鉄心およびその製造方法

## 技術分野

[0001] 本発明は、電磁吸引力の操作により往復運動される電磁アクチュエータに用いられる可動鉄心に関し、特に、可動鉄心全体としての磁気吸引力を向上させ、かつ、耐摩耗性と強度を確保することで、応答性を高めた焼結可動鉄心およびその製造技術に関する。

## 背景技術

[0002] 本発明は、電磁アクチュエータを対象とした発明であり、ここでは電磁アクチュエータの一例として電磁弁を例に述べる。電磁弁は、弁座と隣接する弁体を備える可動鉄心と、可動鉄心に対向して配置され、ソレノイドコイルが巻回された固定鉄心とにより構成される。電磁弁のこのような構造の下、ソレノイドコイルに電流を流すことにより、固定鉄心と可動鉄心との間に発生する磁力によって可動鉄心がその長手方向に進退し、弁の開閉が行われる。このように、電磁弁の構成部材である可動鉄心には、磁束密度が高いことが要求される。また、可動鉄心の軸部材は、軸方向に往復移動させる際に、この軸方向軌道を安定させるための軸支部と摺動されたり、軸部材の反固定鉄心側への移動時の他部材との衝突（可動鉄心と弁体とを一体化させた電磁弁における弁座との衝突など）が繰り返される。このことから、軸部材は、優れた耐摩耗性および繰り返し衝撃に対する優れた疲労強度が要求される。このため、近年では、優れた機械的特性を有する軸部材と、高磁気特性を有する軟磁性材料からなる外周部材との別個の部材から構成された可動鉄心が製造されている。

[0003] 図1(A)および(B)は、上記したような別個の部材から構成された可動鉄心を備える電磁弁の代表的な構造を示す側面図である。これらの図に示すように、電磁弁は、可動鉄心3が、その一端に弁座（図示していない）と隣接する弁体1aを備える軸部材1の他端側に、通常円筒状の外周部材2を備え、軸部材1の径方向（図1(A)）または長手方向（図1(B)）において可動鉄心3と対向する位置に固定鉄心4が配置され、この固定鉄心4にはソレノイドコイル5が巻回された構造となっている。図1(A)の電磁

弁においては、固定鉄心4に巻回されたソレノイドコイル5に流れる電流の向きを変化させる、または、図示しないばねの復元力により復帰させることにより、可動鉄心3の進退が行われる。また、図2(B)の電磁弁においては、固定鉄心4に巻回されたソレノイドコイル5に電流を流すことによって、可動鉄心3が固定鉄心4側に磁力吸引されて弁が開くとともに、固定鉄心4に巻回されたソレノイドコイル5に流れる電流を遮断することによって、図示しないばねの復元力により可動鉄心3が元の位置に復帰し、弁が閉じられる。

- [0004] このような弁の開閉は、ソレノイドコイル5に流れる電流の変化に基づいて可動鉄心3と固定鉄心4との間に発生する磁界に依存する。図1(A), (B)に、ソレノイドコイル5に電流が流れた際に発生する磁力線の方法を点線で示す。このように発生する磁束密度を高め、磁界を有効に活用するため、従来、可動鉄心3の軸部材1としては非磁性の鋼材が用いられ、磁束の漏れを抑制することがよいとされてきた。具体的な軸部材1としては非磁性のステンレス鋼SUS304等が一般的である。
- [0005] このように、軸部材1に非磁性の鋼材を用いる構成の下、図1(A)の電磁弁においては、従来、非磁性の軸部材1および外周部材2とともに鋼材で構成し、圧入、かしめ等の塑性加工手段により一体化したものが一般的であった。しかしながら、可動鉄心3は、その材質が塑性変形可能なものに限定されること、内径の仕上げに高い寸法精度を必要としコストが割高になること、および塑性加工を施す上である程度の大さの加工代を要するために小形軽量化に限界があることなど、可動鉄心の材質、形状、製造工程などに種々の制約があった。
- [0006] これらの制約を取り除くため、図1(A)に示す構造の電磁弁として、外周部材2を焼結材料で構成するとともに、外周部材2を構成する圧粉体の内孔に非磁性の鋼製の軸部材1を嵌め込んだ後、焼結して、外周部材2の焼結と、外周部材2と軸部材1間の拡散接合を一工程で行う焼結接合によりこれらを一体化した焼結可動鉄心が提案されている(特許文献1参照)。また、鋼材から形成された軸部を有する部材と、鉄系の合金粉末または混合粉を圧縮成形して得た孔部を有する圧粉体とを、それぞれの軸部と孔部を嵌め合わせた状態で一体に焼結する技術としては特許文献2のものが提案されている。

[0007] 特許文献1:特開2000-87117号公報

特許文献2:特開2000-87114号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0008] しかしながら、近年、特に自動車の燃料噴射装置等に用いられる電磁弁等の電磁アクチュエータにおいては、より一層高い応答性が要請されている。応答速度を高めるためには、可動鉄心に含まれる弁体の弁座への復帰速度を高めるべく、従来に比して強いばねを用いる手法が考えられる。しかしながら、この手法を実現するためには、電磁弁等の電磁アクチュエータに、上記ばね力に対抗して固定鉄心側に吸引できる磁気特性の良好な可動鉄心を設定することが必要である。さらに、高速で弁体が弁座と衝突を繰り返すため、可動鉄心には高い耐摩耗性および高い疲労強度が必要である。

[0009] 本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、近年要請されている電磁弁等の電磁アクチュエータの高い応答性を実現するために、強いばねを使用した場合にも、固定鉄心側に十分に吸引することができる良好な磁気特性を有するとともに、耐摩耗性および強度の高い可動鉄心およびその製造方法を提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明者らは、上記のような良好な磁気特性を有し、かつ弁座との繰り返し衝突に耐える高い耐摩耗性および高い疲れ強さを有する可動鉄心を備える電磁弁について鋭意、研究を重ねた。その結果、従来非磁性の鋼材を用いることが良好であるとされてきた軸部材1を強磁性の鋼材により構成すると、強いばねを使用した場合にも、固定鉄心4側に十分に磁力吸引することができる良好な磁気特性を有する可動鉄心3が得られ、近年要請されている応答性の高い電磁弁を製造することができるとの知見を得た。そのときの磁力線を図2(A), (B)に示す。図2(A), (B)の電磁弁は、より多くの磁束を通すことが可能であることが分かる。本発明はこのような知見に基づいてなされたものである。

[0011] すなわち、本発明は、電磁弁等の電磁アクチュエータに用いられ、内孔が形成され

るとともに軟磁性材料からなる外周部材に軸部材の一端を嵌め合わせて一体化した可動鉄心において、前記軸部材が強磁性の鋼材により構成されているとともに、前記外周部材が焼結部材により構成され、前記軸部材と前記外周部材とが焼結接合により一体化されていることを特徴としている。また、このような焼結可動鉄心においては、上記強磁性の鋼材が、磁界 $10\text{kA/m}$ のときの磁束密度が $0.3\text{T}$ 以上であって、かつ硬さが $\text{Hv}600$ 以上であるものが好ましい。このような鋼材としては、工具鋼や、軸受鋼、マルテンサイト系ステンレス鋼がある。これら鋼材のうち、工具鋼が好ましく、特に高速度工具鋼が好ましい。高速度工具鋼のなかでは、JIS規格においてSKH51材として規定されている鋼種が好ましい。なお、SKH51材は、SAE規格においてM2材、ISO規格においてHS6-5-2材、GB規格においてW6Mo5Cr4V2材として規定されている鋼種に相当する。

[0012] また、軸部材と外周部材との間には、これら部材を拡散接合する接合拡散層が形成され、この接合拡散層の軸部材側は、硬さが $\text{Hv}300$ 以下のフェライト相からなり、かつ幅が $500\mu\text{m}$ 以下であるのが好ましい。接合拡散層6の軸部材1側の幅とは、拡散接合前の軸部材1の外周面を原点とし軸部材1の径方向に沿った長さである。なお、図2(A), (B)では、符号6が接合拡散層を表し、接合拡散層6は軸部材1と外周部材3との境界線部に相当する。

[0013] 加えて、軟磁性材料としては、純鉄、Fe-P系合金、Fe-Si系合金、Fe-Si-P系合金、パーマロイ系合金、パーメンジュール系合金、電磁ステンレス材料がある。この場合、軟磁性材料の気孔率が $15\%$ 以下であるのが好ましい。

[0014] さらに、本発明の焼結可動鉄心の製造方法は、上記したように、電磁アクチュエータに用いられ、内孔が形成されるとともに軟磁性材料からなる外周部材に軸部材の一端を嵌め合わせて一体化した可動鉄心を好適に製造するための方法であって、軟磁気特性を有する原料粉末を内孔を有する形状に圧粉成形し、得られた圧粉体の内孔に強磁性の鋼材により構成された軸部材を嵌合した後、浸炭ガス雰囲気を除く非酸化性雰囲気中、 $1000^{\circ}\text{C}$ 以上(好ましくは $1100^{\circ}\text{C}$ 以上) $1300^{\circ}\text{C}$ 以下(好ましくは $1200^{\circ}\text{C}$ 以下)の温度で、上記軸部材と上記圧粉体とを焼結拡散接合により一体化し、その後、焼き入れ、焼き戻し処理を施し焼結可動鉄心を得ることを特徴としてい



る。また、このような焼結可動鉄心の製造方法においては、上記圧粉体と上記軸部材との嵌合が、嵌め合い寸法差が隙間 $50\mu\text{m}$ 以下の隙間嵌めであること、または締め代 $20\mu\text{m}$ 以下の締め嵌めであることが望ましい。

### 発明の効果

- [0015] 本発明の焼結可動鉄心は、強磁性の鋼材からなる軸部材の一端側に焼結軟磁性材料からなる外周部材を焼結接合により一体化したものである。このため、本発明によれば、可動鉄心全体としての良好な磁気特性が得られ、優れた磁気吸引力および耐摩耗性、疲れ強さを実現することができ、近年要請されている応答性の高い電磁アクチュエータを製造することができる。

### 図面の簡単な説明

- [0016] [図1]電磁アクチュエータにおける可動鉄心と固定鉄心との配置関係を示すとともに、発生する磁力線の方法を示す模式図であり、(A)は軸部材1の径方向において可動鉄心3と対向する位置に固定鉄心4が配置された例であり、(B)は、軸部材1の長手方向において可動鉄心3と対向する位置に固定鉄心4が配置された例である。
- [図2]本発明の焼結可動鉄心を用いた電磁アクチュエータにおける焼結可動鉄心と固定鉄心との配置関係を示すとともに、発生する磁力線の方法を示す模式図であり、(A)は軸部材1の径方向において可動鉄心3と対向する位置に固定鉄心4が配置された例であり、(B)は、軸部材1の長手方向において可動鉄心3と対向する位置に固定鉄心4が配置された例である。

### 符号の説明

- [0017] 1 軸部材  
1a 弁体  
2 外周部材  
3 可動鉄心(焼結可動鉄心)  
4 固定鉄心  
5 ソレノイドコイル  
6 接合拡散層

## 発明を実施するための最良の形態

[0018] 以下に、本発明の好適な実施形態を詳細に説明する。

従来、図1(A), (B)の点線で示す磁力線の方に鑑み、磁束密度を高めて可動鉄心全体の磁気吸引力を向上させるためには、軸部材を非磁性の鋼材により構成して、磁束の漏れを抑制することが有効であるとされてきた。しかしながら、軸部材を強磁性の鋼材により構成することで、図2(A), (B)の点線で示す磁力線が発生して、焼結可動鉄心全体としての透磁率を向上させることができ、磁気吸引力を一層高めることができることが確認された。

[0019] また、軸部材は、弁座との衝突に鑑み、優れた耐摩耗性および繰り返し衝撃に対する優れた疲れ強さを具備する必要がある、これらの機械的特性は、硬さを高めることにより向上させることができる。しかしながら、軸部材は軟磁性材料からなる圧粉体と嵌合した後、焼結接合されるため、高温の焼結時には結晶粒が粗大化する等の大きな組織変化が生じ耐摩耗性および強度が低下する危険性がある。ただし、軸部材の硬さは、適用する電磁アクチュエータに必要なものであれば足りる。

[0020] 以上の見地より、軸部材を構成する鋼材としては、磁束密度が高い強磁性の鋼材であって、硬さが高い鋼種が適している。磁束密度は高いほど高い強磁性を発揮して磁気吸引力が向上するが、この効果は磁界10kA/mのときの磁束密度で0.3T以上で認められ、より好ましくは1.0T以上とすると目覚ましい向上の効果を示す。また、硬さは電磁アクチュエータの仕様により決定されるものであるが、Hv600以上とすると優れた耐摩耗性と疲れ強さの向上の効果を示すようになる。これらの特性を満足する鋼種としては、高速度工具鋼、軸受鋼やマルテンサイト系ステンレス鋼が挙げられ、高速度工具鋼が最も優れた特性を示す。具体的には、JIS規格においてSKH材として規定されている鋼種である。

[0021] ここで、一般的に圧粉体は強度が低いため、薄肉な場合、焼結接合時に壊れる危険性があるが、軸部材を上記鋼材から構成すると、このような問題は解消される。すなわち、上記鋼材は、焼結接合前にはbcc構造をしており、焼結接合時の昇温過程の800℃前後には、bcc構造からfcc構造への変態により寸法収縮が発生し、一時的に圧粉体との間に隙間が生じる。一方、圧粉体は、800℃付近から元素拡散が生じ

ることにより、ネックが形成され強度が増し、焼結収縮により軸部材に接触したときに圧粉体強度が大きくなるため、薄肉な場合でも壊れ難い。

[0022] 次に、焼結には、軟磁性圧粉体の粉末間の拡散接合を促進させ、緻密化による強度の向上および磁気特性向上を果たす作用と、圧粉体と軸部材との拡散接合を果たす作用とがある。焼結温度が1000℃に満たない場合には、上記緻密化の進行が不十分となり、外周部材の強度および磁気特性が不十分なものとなるとともに、圧粉体と軸部材との拡散接合が不十分なものとなる。このため、焼結温度については1000℃を下限值とした。この焼結温度の下限値は、1100℃以上とするとさらに好ましい。一方、焼結温度が高いほど、軸部材と軟磁性材料との拡散が進行する結果、強固な結合を得ることができる。しかしながら、焼結温度が1300℃よりも高い場合には、軸部材に高速度工具鋼を用いても、熱処理による硬さの回復が難しくなる。このため、焼結温度の上限値は、接合強度を重視する場合に1300℃とした。また、焼結温度が1200℃以下である場合には、焼結による一体化の後、焼き入れおよび焼き戻しの熱処理を施すことにより、硬さが回復し、軸部材に要求される高い耐摩耗性と、繰り返しの衝撃に対する高い疲れ強さとを得ることができるようになるため、好ましい条件として焼結温度の上限を1200℃とした。

[0023] なお、焼結時に使用する雰囲気ガスについては、酸化性の雰囲気ガスとすると、外周部材のFe分が酸化により減少して磁気特性を低下させるため、非酸化性の雰囲気とする必要がある。しかしながら、非酸化性の雰囲気であっても、浸炭性の雰囲気ガスは、雰囲気中のCが外周部材のFe中に拡散して磁気特性を低下させるとともに、上記Cの拡散により外周部材が焼結時に膨張する傾向を示して軸部材との接合が不十分となる。したがって、焼結雰囲気は、浸炭ガス雰囲気を除く非酸化性雰囲気とする必要がある。

[0024] また、軸部材と外周部材とを嵌め合わせる際の嵌め合い寸法差(圧粉体の孔の内径寸法と軸部材の外径寸法との差)も重要である。軸部材の外径寸法を大きく(締め込み嵌め)設定して圧粉体の孔に圧入することが好ましく、締め代は大きいほど、軸部材と外周部材との密着度が高くなる。ただし、強度が低い圧粉体からなる外周部材の引張り応力による破損を避けるため、締め代を20  $\mu$ m以内、好ましくは10  $\mu$ m以内に

止める必要がある。また、通り嵌めを選択する場合であっても、隙間は小さいほど良好であるため、 $50\mu\text{m}$ 以下に止めるべきである。

### 実施例

#### [0025] [実施例1]

鉄粉末に、P量が20質量%のFe-P粉末とSi粉末とを所定量混合することにより、組成がP:0.6質量%、Si:2.0質量%、ならびに残部がFeおよび不可避不純物の軟磁性粉末を得、この軟磁性粉末を成形圧力700MPaで $\phi 18 \times \phi 6 \times t3$ の円環形状に圧粉成形して、軟磁性圧粉体を作製した。

[0026] この軟磁性圧粉体に、 $\phi 6 \times 15$ のSKH51材、SUJ2材およびSUS440C材(強磁性の鋼材)およびSUS304材(非磁性の鋼材)からなる鋼軸をそれぞれ嵌合させ、真空雰囲気中、 $1200^{\circ}\text{C}$ の温度で焼結し、軟磁性圧粉体Aと鋼軸とを一体化した。そして、SKH51材は $1160^{\circ}\text{C}$ 、SUJ2材は $800^{\circ}\text{C}$ 、SUS440C材は $1100^{\circ}\text{C}$ でそれぞれ焼き入れを行った後、SKH51材は $550^{\circ}\text{C}$ 、SUJ2材は $170^{\circ}\text{C}$ 、SUS440C材は $170^{\circ}\text{C}$ でそれぞれ焼き戻しを行った。焼入れ鋼でないSUS304材は、焼入れ焼き戻し処理を行わなかった。このようにして表1に示す焼結可動鉄心A〜Dを得た。

[0027] これらの焼結可動鉄心A〜Dについて、使用した鋼軸の磁界 $10\text{kA}/\text{m}$ のときの磁束密度を表1に記載するとともに、作製した焼結可動鉄心の軸硬さ、3質量%珪素鋼製 $\phi 18$ のポットコイル型固定鉄心との組み合わせにおける磁気吸引力、および鋼軸の結晶粒径を測定した結果を表1に併記する。

#### [0028] [表1]

	鋼軸の種類	磁束密度 $B_{10000}$ (T)	鋼軸の硬さのばらつき (Hv)	磁気吸引力(N)	結晶粒径( $\mu\text{m}$ )
焼結可動鉄心A	SKH51材	1.27	707~732	65	約20
焼結可動鉄心B	SUJ2材	1.29	671~713	66	約150
焼結可動鉄心C	SUS440C材	0.4	328~707	55	約100
焼結可動鉄心D	SUS304材	0.01	150~167	51	約100

[0029] 表1から明らかなように、鋼軸として磁束密度が0.3Tの強磁性の鋼材であるSKH51材およびSUJ2材およびSUS440C材を用いた可動鉄心AおよびBおよびCは、非磁性の鋼材を用いた焼結可動鉄心Dに比して磁気吸引力が大きく、磁束密度が1.0Tを超える焼結可動鉄心AおよびBでは著しい磁気吸引力を示すことが判る。次



に硬さを見てみると、SKH51材、SUJ2材、SUS440C材からなる鋼軸の熱処理硬さは、SUS304材からなる鋼軸の硬さよりも高い。中でも、SKH51材、SUJ2材は硬さにばらつきがなく均一で、より耐摩耗性に優れる。さらにその中でも、SKH51材は焼結工程において結晶粒がある程度成長してもその後の熱処理で結晶粒の微細化が可能であるため、優れた疲れ強さが得られる。

[0030] [実施例2]

実施例1の軟磁性圧粉体Aと、SKH51材の鋼軸とを用い、焼結温度を900ー1300℃まで変化させた以外は実施例1と同様の条件で焼結可動鉄心EーIを作製し、作製した焼結可動鉄心の軸硬さ、3質量%珪素鋼製φ18のポットコイル型固定鉄心との組み合わせにおける磁気吸引力を測定するとともに、外周部を固定して軸部に圧力を加えて軸部が抜け落ちるときの抜き出し圧力を測定した結果を表2に示す。

[0031] [表2]

	焼結温度(℃)	鋼軸の硬さのばらつき (Hv)	磁気吸引力(N)	抜き出し圧力 (MPa)
焼結可動鉄心E	900	707~720	50	50
焼結可動鉄心F	1000	695~732	57	100
焼結可動鉄心G	1100	713~720	61	150
焼結可動鉄心H	1200	707~732	65	240
焼結可動鉄心I	1300	511~707	66	340

[0032] 表2から明らかなように、焼結温度が900℃の焼結可動鉄心Eは、外周部材の焼結による緻密化が不十分で磁気吸引力が低い値となることが判る。また、外周部材と軸部材の拡散接合も不十分で、抜き出し圧力も低い値となっている。これに対し、焼結可動鉄心FーIについては、焼結温度が1000℃より上昇するにつれて緻密化が進行して磁気吸引力は高くなるとともに、抜き出し圧力も向上しており、焼結温度1300℃で抜き出し圧力が最も高くなっていることが判る。また、焼結温度が1100℃以上では良好な磁気吸引力を示すとともに、抜き出し圧力も高い値を示すようになる。ただし、焼結温度が1200℃を超えると磁気吸引力の向上の効果は乏しくなることが判る。一方、鋼軸の硬さは焼結温度が1200℃まではほぼ同程度の硬さとばらつきを示すが、1200℃を超えるとばらつきの下限値が低下していることが判る。これは、焼結温度が1200℃までは炭化物粒子の成長があまり進行しないこと、および結晶粒はある程度

成長するものの後の熱処理により微細化が可能な程度であるが、1200℃を超えると、結晶粒および炭化物粒子が急激に成長して後の熱処理でも結晶粒が微細化できないほど粗大化したためと考えられる。以上により、焼結温度の下限は1000℃以上が好適であり、1100℃以上がより好ましく、焼結温度の上限は、接合強度を重視する場合には1300℃、硬さを重視する場合には1200℃以下が好適であるといえる。

[0033] [実施例3]

実施例1の軟磁性圧粉体Aと、SKH51材の鋼軸とを用い、圧入代を+100 $\mu$ mの隙間嵌めー50 $\mu$ mの締まり嵌めまで変化させた以外は、実施例1と同様の条件で焼結可動鉄心JーSを作製し、作製した焼結可動鉄心の外周部を固定して軸部に圧力を加えて軸部が抜け落ちるときの抜き出し圧力を測定した結果を表3に示す。

[0034] [表3]

	締め代( $\mu$ m)	抜き出し圧力(MPa)	備 考
焼結可動鉄心J	+100(隙間嵌め)	20	脱落
焼結可動鉄心K	+50(隙間嵌め)	100	良好
焼結可動鉄心L	+20(隙間嵌め)	160	良好
焼結可動鉄心M	+10(隙間嵌め)	200	良好
焼結可動鉄心N	+5(隙間嵌め)	230	良好
焼結可動鉄心O	$\pm 0$	240	良好
焼結可動鉄心P	-5(締まり嵌め)	245	良好
焼結可動鉄心Q	-10(締まり嵌め)	250	良好
焼結可動鉄心R	-20(締まり嵌め)	255	良好
焼結可動鉄心S	-50(締まり嵌め)	×	圧粉体クラック発生

[0035] 表3から明らかなように、隙間が50 $\mu$ mを超える焼結可動鉄心Jでは、隙間が大きすぎるため、抜き出し圧力が極めて低い値となっているが、隙間が50 $\mu$ m以下の隙間嵌めでは、実用上十分な接合強さが得られていることがわかる。また、隙間が小さくなるにつれて、抜き出し圧力が大きくなり、接合性が向上するが、隙間が-20 $\mu$ m(締め代が20 $\mu$ m)より小さな締まり嵌めでは、圧粉体と鋼軸の嵌合に際して、圧粉体にクラックが発生していることがわかる。以上により、圧粉体と鋼軸の嵌合に際しては、隙間が50 $\mu$ m以下の隙間嵌め、もしくは締め代が20 $\mu$ m以下の締まり嵌めのいずれかであれば、十分な接合性が得られることが確認された。

産業上の利用可能性

[0036] 本発明の焼結可動鉄心は、従来に比して強いばねを適用した場合であっても、可動鉄心の磁気吸引力を向上させたこと、および軸部材の強度と耐摩耗性を向上させたことにより、応答性を安定して高めることができる。よって、本発明の焼結可動鉄心の活用例としては、近年高い応答性が要求される油圧ポンプ、自動車エンジンの燃料噴射装置その他流体の制御装置等のソレノイドにより作動するストローク制御装置などに用いられ、電磁吸引力の操作により往復される電磁アクチュエータが挙げられる。

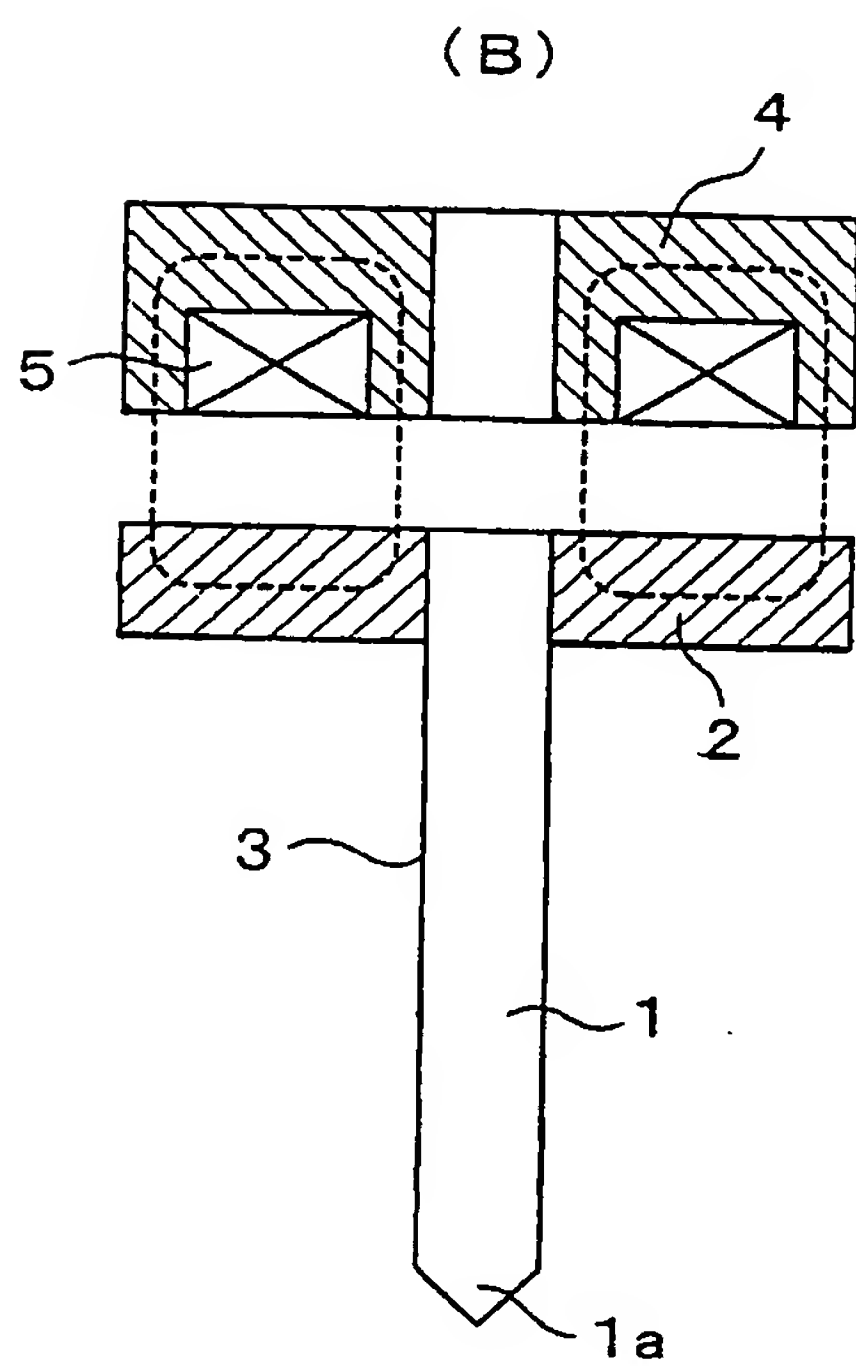
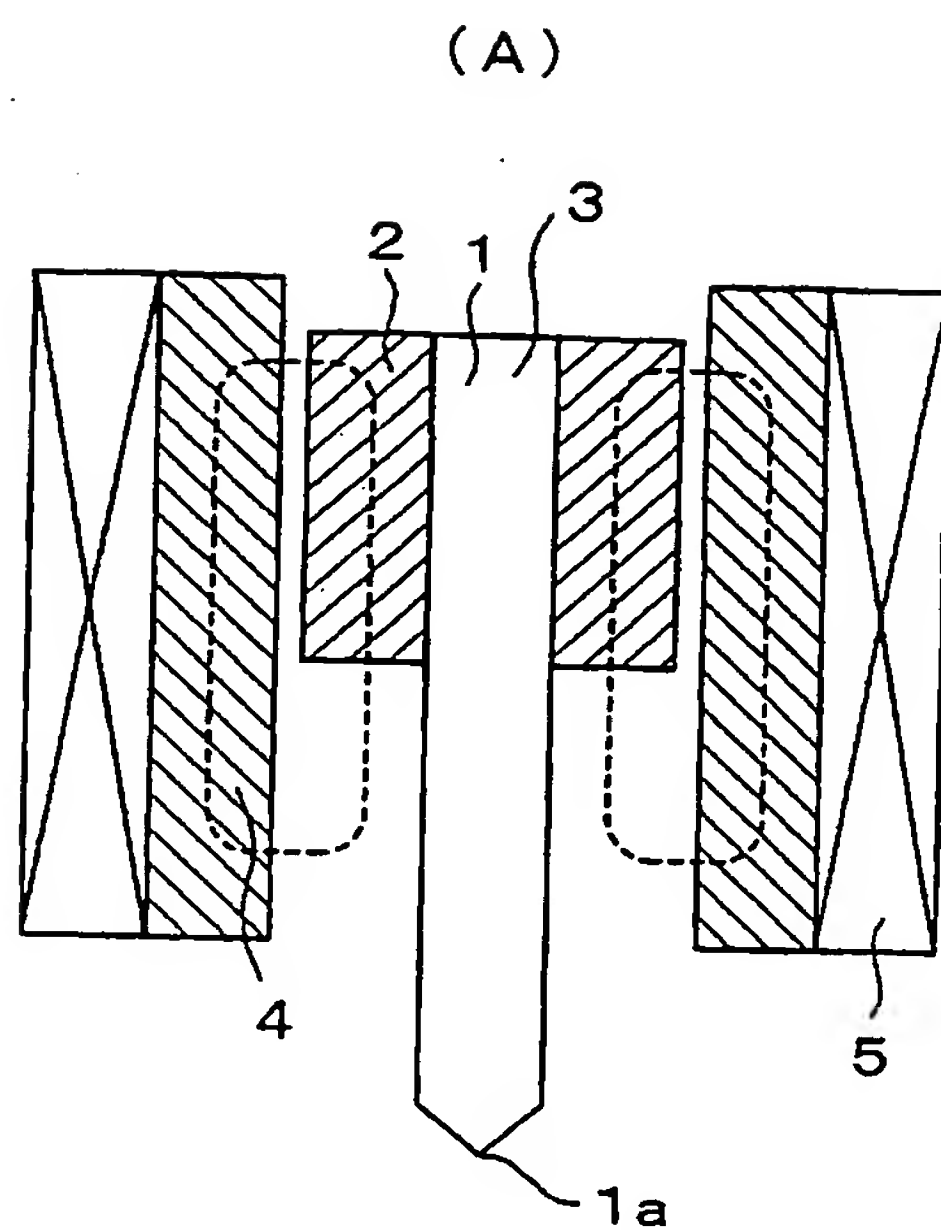
## 請求の範囲

- [1] 電磁アクチュエータに用いられ、内孔が形成されるとともに軟磁性材料からなる外周部材に軸部材の一端を嵌め合わせて一体化した可動鉄心において、  
前記軸部材が強磁性の鋼材により構成されているとともに、前記外周部材が焼結部材により構成され、前記軸部材と前記外周部材とが焼結接合により一体化されていることを特徴とする焼結可動鉄心。
- [2] 前記強磁性の鋼材が、磁界10kA/mにおける磁束密度が0.3T以上であって、かつ硬さがHv600以上であることを特徴とする請求項1に記載の焼結可動鉄心。
- [3] 前記強磁性の鋼材は、工具鋼、軸受鋼、およびマルテンサイト系ステンレス鋼のいずれかであることを特徴とする請求項2に記載の焼結可動鉄心。
- [4] 前記工具鋼は、高速度工具鋼であることを特徴とする請求項3に記載の焼結可動鉄心。
- [5] 前記軸部材と前記外周部材との間には、前記軸部材と前記外周部材とを拡散接合する接合拡散層が形成され、この接合拡散層の軸部材側は、硬さがHv300以下のフェライト相からなり、かつ幅が500 $\mu$ m以下であることを特徴とする請求項3に記載の焼結可動鉄心。
- [6] 前記軟磁性材料は、純鉄、Fe-P系合金、Fe-Si系合金、Fe-Si-P系合金、パーマロイ系合金、パーメンジュール系合金、および電磁ステンレス材料のいずれかであることを特徴とする請求項1に記載の焼結可動鉄心。
- [7] 前記軟磁性材料の気孔率が15%以下であることを特徴とする請求項6に記載の焼結可動鉄心。
- [8] 電磁アクチュエータに用いられ、内孔が形成されるとともに軟磁性材料からなる外周部材に軸部材の一端を嵌め合わせて一体化した可動鉄心の製造方法であって、  
軟磁気特性を有する原料粉末を内孔を有する形状に圧粉成形し、得られた圧粉体の内孔に強磁性の鋼材により構成された軸部材を嵌合した後、浸炭ガス雰囲気を除く非酸化性雰囲気中、1000℃以上1300℃以下の温度で、前記軸部材と前記圧粉体とを焼結拡散接合により一体化し、その後、焼き入れ、焼き戻し処理を施し可動鉄心を得ることを特徴とする焼結可動鉄心の製造方法。



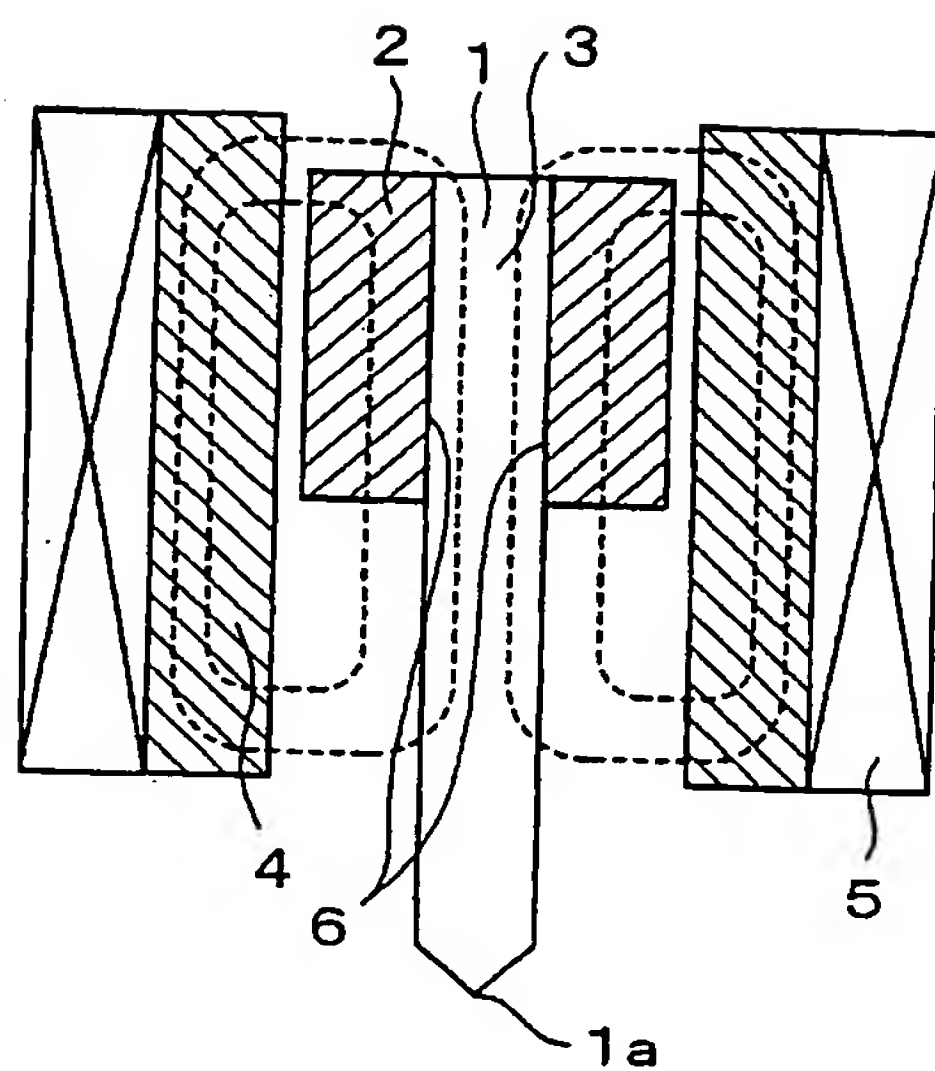
- [9] 前記圧粉体と前記軸部材との嵌合が、嵌め合い寸法差が隙間 $50\mu\text{m}$ 以下の隙間嵌めであること、または締め代 $20\mu\text{m}$ 以下の締め嵌めであることを特徴とする請求項8に記載の焼結可動鉄心の製造方法。

[図1]



[図2]

(A)



(B)

